

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Stefan Waasen et al.
Filed : Concurrently herewith
Title : Device and Method for Demodulating Frequency-Modulated Signals

CLAIM FOR PRIORITY

Hon. Commissioner of Patents and Trademarks,
Washington, D.C. 20231

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon German Patent Application No. 199 30 227.8, filed June 30, 1999

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

A large, stylized handwritten signature in black ink, appearing to read "Mark Greenberg".

For Applicants

Date: December 31, 2001

Lerner and Greenberg, P.A.
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
Tel: (954) 925-1100
Fax: (954) 925-1101
/bb



J1040 U.S. PTO

10/036033



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 199 30 227.8

Anmeldetag: 30. Juni 1999

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Vorrichtung und Verfahren zum Demodulieren
frequenzmodulierter Signale

IPC: H 03 D 3/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. Dezember 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Beschreibung

Vorrichtung und Verfahren zum Demodulieren frequenzmodulier-
ter Signale

5

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung gemäß dem
Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und ein Verfahren gemäß dem
Oberbegriff des Patentanspruchs 2, d.h. eine Vorrichtung zur
Demodulation eines frequenzmodulierten Signals, mit einer
10 Vorrichtung zum Differenzieren von auf eine Zwischenfrequenz
umgesetzten Signalen, bzw. ein Verfahren zur Demodulation
eines frequenzmodulierten Signals unter Umsetzen desselben in
Signale mit einer vorbestimmten Zwischenfrequenz, und De-
modulation der auf die Zwischenfrequenz umgesetzten Signale.

15

Eine Vorrichtung und ein Verfahren dieser Art kommen bei-
spielsweise bei der Demodulation eines frequenzmodulierten
Signals unter Verwendung des sogenannten Quadricorrelators
zum Einsatz.

20

Der prinzipielle Aufbau eines Quadricorrelators ist in Figur
3 veranschaulicht. Der gezeigte Quadricorrelator umfaßt einen
ersten Mischer M1, einen zweiten Mischer M2, einen ersten
Tiefpaß-Filter TP1, einen zweiten Tiefpaß-Filter TP2, ein
25 erstes Differenzierglied D1, ein zweites Differenzierglied
D2, einen ersten Multiplizierer X1, einen zweiten Multipli-
zierer X2, und einen Subtrahierer S, die wie in der Figur 3
gezeigt verschaltet sind. Das zu demodulierende Signal ist
mit $E(t)$ bezeichnet, und das demodulierte Signal ist mit $A(t)$
30 bezeichnet.

Durch den ersten Mischer M1 und den diesem nachgeschalteten
Tiefpaß-Filter TP1 wird das zu demodulierende Signal $E(t)$ in
ein Signal $I(t)$ mit einer vorbestimmten Zwischenfrequenz um-
35 gesetzt. Dabei multipliziert der erste Mischer M1 das zu de-
modulierende Signal $E(t)$ mit $\cos(\omega_1 t)$, und der Tiefpaß-Filter
TP1 filtert bei der Mischung entstandene, aber für die wei-

tere Verarbeitung nicht erforderliche oder störende Komponenten des daraus resultierenden Ergebnisses heraus. Das Signal $I(t)$ wird durch den ersten Differenzierer D1 differenziert, wodurch ein differenziertes Signal $I'(t)$ entsteht.

5

Durch den zweiten Mischer M2 und den diesem nachgeschalteten Tiefpaß-Filter TP2 wird das zu demodulierende Signal $E(t)$ in ein Signal $Q(t)$ mit einer vorbestimmten Zwischenfrequenz umgesetzt. Dabei multipliziert der zweite Mischer M2 das zu demodulierende Signal $E(t)$ mit $-\sin(\omega_0 t)$, und der Tiefpaß-Filter TP2 filtert bei der Mischung entstandene, aber für die weitere Verarbeitung nicht erforderliche oder störende Komponenten des daraus resultierenden Ergebnisses heraus. Das Signal $Q(t)$ wird durch den zweiten Differenzierer D2 differenziert, wodurch ein differenziertes Signal $Q'(t)$ entsteht.

10

15

Der erste Multiplizierer X1 multipliziert das Signal $I'(t)$ mit dem Signal $Q(t)$.

20

Der zweite Multiplizierer X2 multipliziert das Signal $Q'(t)$ mit dem Signal $I(t)$.

25

Die Ausgangssignale der Multiplizierer X1 und X2 werden dem Subtrahierer S zugeführt. Dieser bildet die Differenz $I'(t) \cdot Q(t) - I(t) \cdot Q'(t)$ und gibt diese als das demodulierte Signal $A(t)$ aus.

30

Bezüglich weiterer Einzelheiten zum Aufbau, der Funktion und der Wirkungsweise von Quadricorrelatoren wird auf Floyd M. Gardner: Characteristics of Frequency-Tracking Loops in: Phase-Locked Loops, Editors: W.C. Lindsey, C.M. Chie, New York, IEEE Press, 1986, Seiten 226 bis 240 verwiesen.

35

Quadricorrelatoren werden insbesondere bei Verwendung von sogenannten Low-IF-Strukturen (bei der Verwendung von niedrigen Zwischenfrequenzen) sehr häufig eingesetzt. Die Differenzier-

glieder werden dabei üblicherweise durch Hochpaß- oder Tiefpaß-Filter realisiert.

Die Demodulation frequenzmodulierter Signale unter Verwendung
5 eines Quadricorrelators führt rein theoretisch mit einem ver-
hältnismäßig geringen Aufwand zu hervorragenden Ergebnissen.
In der Praxis treten aber mitunter diverse Probleme auf. Das
demodulierte Signal kann insbesondere Nichtlinearitäten im
10 Frequenzbereich aufweisen (hohe Frequenzen werden mitunter
anders gewichtet als niedrige Frequenzen), ein starkes und/
oder ungleichmäßig verteiltes Rauschen aufweisen, und/oder
eine nachträgliche Offsetkorrektur erfordern. Diese Probleme
lassen sich - wenn überhaupt - nur mit einem relativ hohen
Aufwand verhindern bzw. eliminieren.

15 Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde,
die Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1
und das Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 2
derart weiterzubilden, daß sich damit zu demodulierende
20 Signale mit minimalem Aufwand und dennoch selbst höchsten
Anforderungen genügenden Ergebnissen demodulieren lassen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das im kennzeichnen-
den Teil des Patentanspruchs 1 beanspruchte Merkmal (Vorrich-
25 tung) bzw. durch das im kennzeichnenden Teil des Patent-
anspruchs 2 beanspruchte Merkmal (Verfahren) gelöst.

Demnach ist vorgesehen,

- 30 - daß das Differenzieren unter Verwendung eines Polyphasen-
Filters erfolgt (kennzeichnender Teil des Patentanspruchs
1), bzw.
- 35 - daß die Demodulator-Kennlinie punktsymmetrisch zur
Zwischenfrequenz ausgerichtet wird (kennzeichnender Teil
des Patentanspruchs 2).

Vorrichtungen und Verfahren dieser Art ermöglichen es, die zur Demodulation vorzunehmenden Maßnahmen symmetrisch zur Zwischenfrequenz erfolgen zu lassen. Durch die Beseitigung der in herkömmlichen Demodulatoren vorhandenen Asymmetrien ergibt sich eine ganze Reihe von Vorteilen:

- oberhalb und unterhalb der Zwischenfrequenz liegende (hohe und niedrige) Frequenzen werden gleich bewertet,
- 10 - das Rauschen ist stärker bandbegrenzt und im interessierenden Frequenzbereich gleichmäßiger verteilt,
- gegebenenfalls vorhandene Nichtlinearitäten wirken sich gleichermaßen auf hohe und auf niedrige Frequenzen aus, 15 wodurch sie nicht mehr so kritisch sind, und
- es ist keine Offsetkorrektur mehr erforderlich.

20 Vorrichtungen und Verfahren der beanspruchten Art ermöglichen es also, zu demodulierende Signale mit minimalem Aufwand und optimalem Ergebnis zu demodulieren.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen, der folgenden Beschreibung, und den Figuren entnehmbar. 25

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert. Es zeigen

30

Figur 1 den Aufbau der vorliegend näher betrachteten Vorrichtung zur Demodulation frequenzmodulierter Signale,

35

Figur 2 den Aufbau eines in der Vorrichtung gemäß Figur 1 enthaltenen Polyphasen-Filters, und

Figur 3 den Aufbau einer herkömmlichen Vorrichtung zur Demodulation frequenzmodulierter Signale.

5 Die nachfolgend näher beschriebene Vorrichtung und das nachfolgend näher beschriebene Verfahren zur Demodulation frequenzmodulierter Signale werden im betrachteten Beispiel in einem nach dem DECT-Standard arbeitenden System verwendet. Es sei jedoch bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen,
10 daß hierauf keine Einschränkung besteht. Die beschriebene Vorrichtung und das beschriebene Verfahren können auch in beliebigen anderen Systemen eingesetzt werden.

Die beschriebene Vorrichtung ist eine neuartige praktische
15 Realisierung des Quadricorrelators gemäß Figur 3. Dabei werden die Differenzierglieder D1 und D2 nicht mehr wie bisher durch Hochpaß-Filter oder Tiefpaß-Filter realisiert, sondern durch ein sogenanntes Polyphasen-Filter, genauer gesagt durch einen Pol eines Polyphasen-Filters.

20 Der neuartige Demodulator ist in Figur 1 dargestellt.

Wie aus einer Gegenüberstellung der Figuren 1 und 3 ersichtlich ist, bleibt bei dem neuartigen Demodulator die Grundstruktur des Quadricorrelators gemäß Figur 3 erhalten. Mit
25 den gleichen Bezugszeichen bezeichnete Elemente entsprechen einander und werden zur Vermeidung von Wiederholungen nicht nochmals beschrieben. Neu am Demodulator gemäß Figur 1 ist hingegen, daß die Differenzierglieder D1 und D2 durch den
30 bereits erwähnten, in der Figur 1 mit dem Bezugszeichen PPF bezeichneten Polyphasen-Filter realisiert werden.

Wie aus der Figur 1 ersichtlich ist, erhält der Polyphasen-Filter PPF die (nach wie vor vorhandenen) Signale $I(t)$ und
35 $Q(t)$ und erzeugt daraus nach der Zeit differenzierte Signale $I'(t)$ und $Q'(t)$. Diese Signale werden durch die (nach wie vor vorhandenen) Multiplizierer X1 und X2 mit $Q(t)$ bzw. $I(t)$ mul-

tipliziert, und durch den (nach wie vor vorhandenen) Subtrahierer S voneinander subtrahiert. Das aus dem Demodulator gemäß Figur 1 ausgegebene (demodulierte) Signal $A(t)$ ist damit wie bei dem in der Figur 3 gezeigten Quadricorrelator

5 $I'(t) \cdot Q(t) - I(t) \cdot Q'(t)$.

Der Aufbau des Polyphasen-Filters PPF ist in Figur 2 gezeigt. Er enthält im betrachteten Beispiel einen ersten Addierer A1, einen zweiten Addierer A2, einen ersten Tiefpaß-Filter TP3, einen zweiten Tiefpaß-Filter TP4, einen ersten Verstärker V1, und einen zweiten Verstärker V2.

10

Das in den Polyphasen-Filter PPF eingegebene Signal $I(t)$ wird durch den ersten Addierer A1 zu dem aus dem zweiten Tiefpaß-Filter TP4 ausgegebenen und durch den zweiten Verstärker V2 verstärkten Signal addiert und durch den ersten Tiefpaß-Filter TP3 einer Tiefpaß-Filterung unterzogen; das aus dem ersten Tiefpaß-Filter TP3 ausgegebene Signal ist das (differenzierte) Signal $I'(t)$.

15

20

Das in den Polyphasen-Filter PPF eingegebene Signal $Q(t)$ wird durch den zweiten Addierer A2 zu dem aus dem ersten Tiefpaß-Filter TP3 ausgegebenen und durch den ersten Verstärker V1 verstärkten Signal addiert und durch den zweiten Tiefpaß-Filter TP4 einer Tiefpaß-Filterung unterzogen; das aus dem zweiten Tiefpaß-Filter TP4 ausgegebene Signal ist das (differenzierte) Signal $Q'(t)$.

25

Der Polyphasen-Filter PPF führt nicht wirklich eine Differenzierung der Signale $I(t)$ und $Q(t)$ durch. Die ausgegebenen Signale $I(t)$ und $Q(t)$ entsprechen aber im vorliegend interessierenden Bereich mit hinreichender Genauigkeit dem Ergebnis einer Differenzierung.

30

Der Polyphasen-Filter PPF führt eigentlich "nur" eine Tiefpaß-Filterung aus. Allerdings kann über die (im folgenden mit k bezeichneten) Verstärkungsfaktoren der Verstärker V1 und V2

35

die Mittenfrequenz der Durchlaßkurve des Filters verschoben werden.

Bei einem normalen Tiefpaß liegt diese Mittenfrequenz der Durchlaßkurve bei 0 Hz, und die Durchlaßkurve verläuft punktsymmetrisch zu diesem Nullpunkt. Dies gilt auch für die im Polyphasen-Filter PPF enthaltenen Tiefpässe TP3 und TP4. Deren Durchlaßkurven sind allerdings durch die Kreuzkopplung (die Einkopplung des Ausgangssignals von TP3 an den Eingang von TP4, und die Einkopplung des Ausgangssignals von TP4 an den Eingang von TP3 abhängig von den Verstärkungsfaktoren k der in den Kreuzkopplungspfaden vorgesehenen Verstärker V1 und V2 verschiebbar.

Im betrachteten Beispiel werden die Mittenfrequenzen der Durchlaßkurven der Tiefpaßfilter so verschoben, daß sie auf der Zwischenfrequenz zu liegen kommen, auf welche das zu demodulierende Signal $E(t)$ durch die Mischer M1 und M2 umgesetzt wurde.

Dies kann dadurch erreicht werden, daß man die Verstärkungsfaktoren k der Verstärker V1 und V2 auf ZF/ω_0 einstellt, wobei ZF die Zwischenfrequenz bezeichnet, und wobei ω_0 die Eckfrequenz der Tiefpässe bezeichnet. Dadurch stellt sich (wenn man $1/(1+j\omega/\omega_0)$ als Übertragungsfunktion der Tiefpässe TP3 und TP4 verwendet) eine Demodulator-Kennlinie

$$D = - \frac{(\omega - k \cdot \omega_0) / \omega_0}{1 + ((\omega - k \cdot \omega_0) / \omega_0)^2}$$

ein.

Diese Kennlinie ist punktsymmetrisch zur Zwischenfrequenz $(k \cdot \omega_0)$.

Bezüglich weiterer Einzelheiten zu Aufbau, Betrieb, Funktion, und Wirkungsweise von Polyphasen-Filtern wird auf M.

Steyaert, J. Crols: Analog Integrated Polyphase Filters, in: Analog Circuit Design, Editors: W. Sansen, J.H. Huijsing, R.J. Van de Plassche, Boston, Kluwer Academic Publishers, 1994, Vol. 3, Seiten 149-166 verwiesen.

5

Die punktsymmetrische Ausrichtung der Demodulatorkennlinie zur Zwischenfrequenz erweist sich in mehrfacher Hinsicht als vorteilhaft:

10 - oberhalb und unterhalb der Zwischenfrequenz liegende (hohe und niedrige) Frequenzen werden gleich bewertet,

- das Rauschen ist stärker bandbegrenzt und im interessierenden Frequenzbereich gleichmäßiger verteilt,

15

- gegebenenfalls vorhandene Nichtlinearitäten wirken sich gleichermaßen auf hohe und auf niedrige Frequenzen aus, wodurch sie nicht mehr so kritisch sind, und

20

- es ist keine Offsetkorrektur mehr erforderlich (der Demodulator liefert bei der Mittenfrequenz (der Zwischenfrequenz) den Wert Null.

25

Die beschriebene Vorrichtung und das beschriebene Verfahren ermöglichen es mithin, zu demodulierende Signale mit minimalem Aufwand und optimalem Ergebnis zu demodulieren.

Bezugszeichenliste

An	Addierer
Dn	Differenzierglieder
Mn	Mischer
PPF	Polyphasen-Filter
S	Subtrahierer
TPn	Tiefpaß-Filter
Vn	Verstärker
Xn	Multiplizierer

$E(t)$	zu demodulierendes Signal
$A(t)$	demoduliertes Signal
$I(t)$	auf eine Zwischenfrequenz umgesetztes Zwischensignal
$I'(t)$	differenziertes Zwischensignal $I(t)$
$Q(t)$	auf eine Zwischenfrequenz umgesetztes Zwischensignal
$Q'(t)$	differenziertes Zwischensignal $Q(t)$

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Demodulation eines frequenzmodulierten Signals ($E(t)$), mit einer Vorrichtung zum Differenzieren ($D1$,
5 $D2$) von auf eine Zwischenfrequenz umgesetzten Signalen ($I(t)$, $Q(t)$),
dadurch gekennzeichnet,
daß das Differenzieren unter Verwendung eines Polyphasen-Filters (PPF) erfolgt.
- 10 2. Verfahren zur Demodulation eines frequenzmodulierten Signals ($E(t)$) unter Umsetzen desselben in Signale ($I(t)$, $Q(t)$) mit einer vorbestimmten Zwischenfrequenz, und Demodulation der auf die Zwischenfrequenz umgesetzten Signale,
15 dadurch gekennzeichnet,
daß die Demodulator-Kennlinie punktsymmetrisch zur Zwischenfrequenz ausgerichtet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2,
20 dadurch gekennzeichnet,
daß die Demodulation der auf die Zwischenfrequenz umgesetzten Signale ($I(t)$, $Q(t)$) ein Differenzieren derselben umfaßt.
4. Verfahren nach Anspruch 3,
25 dadurch gekennzeichnet,
daß das Differenzieren unter Verwendung eines Polyphasen-Filters (PPF) durchgeführt wird.
5. Vorrichtung oder Verfahren nach Anspruch 1 oder 4,
30 dadurch gekennzeichnet,
daß der Durchlaßbereich des Polyphasen-Filters (PPF) symmetrisch zur Zwischenfrequenz ausgerichtet wird.



Zusammenfassung

Vorrichtung und Verfahren zum Demodulieren frequenzmodulierter Signale

5

Bei der beschriebenen Vorrichtung und dem beschriebenen Verfahren wird die Demodulator-Kennlinie mit Hilfe eines Polyphasen-Filters punktsymmetrisch zur Zwischenfrequenz ausgerichtet. Auf diese Weise können zu demodulierende Signale

10

mit minimalem Aufwand und optimalem Ergebnis demoduliert werden.

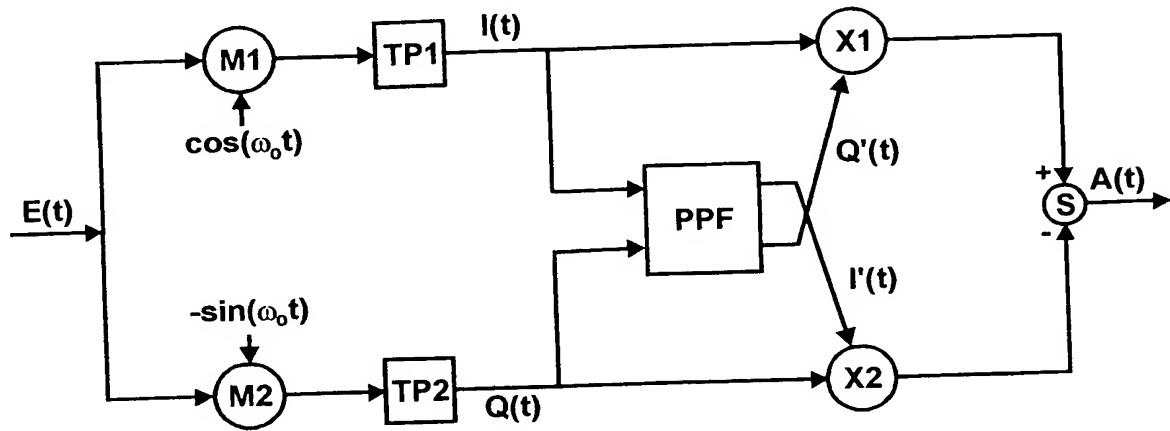


FIG 1

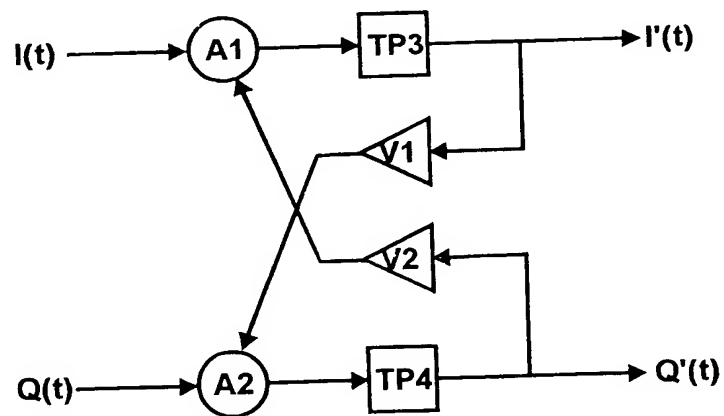


FIG 2

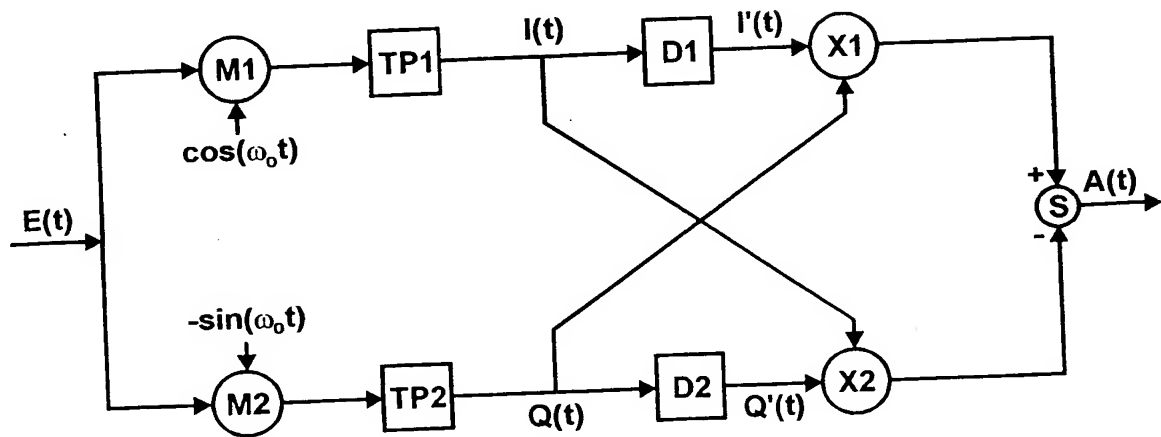


FIG 3